

NONPROVISIONAL PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

OLIFF & BERRIDGE, PLC
P.O. Box 19928
Alexandria, Virginia 22320
Telephone: (703) 836-6400
Facsimile: (703) 836-2787

Attorney Docket No.: 106477

Date: June 12, 2000

BOX PATENT APPLICATION

**NONPROVISIONAL APPLICATION TRANSMITTAL
RULE §1.53(b)**

Director of the U.S. Patent and Trademark Office
Washington, D.C. 20231

Sir:

Transmitted herewith for filing under 37 C.F.R. §1.53(b) is the nonprovisional patent application

For (Title): METHOD FOR PROCESSING IMAGE, RECORDING MEDIUM STORING IMAGE
PROCESSING PROGRAM AND IMAGE PROCESSING APPARATUS

By (Inventors): Ken UTAGAWA

- ☒ Formal drawings (Figs. 1-8; 8 sheets) are attached.
- ☒ A Declaration and Power of Attorney is filed herewith.
- ☒ An assignment of the invention to NIKON CORPORATION is filed herewith.
- ☒ An Information Disclosure Statement is filed herewith.
- ☐ A statement to establish small entity status under 37 C.F.R. §§1.9 and 1.27 is filed herewith.
- ☐ A Preliminary Amendment is filed herewith.
- ☐ Please amend the specification by inserting before the first line the sentence --This nonprovisional application claims the benefit of U.S. Provisional Application No. _____, filed _____.
- ☒ Priority of foreign applications No. 11-167214 filed June 14, 1999 in Japan and 2000-154771 filed May 25, 2000 in Japan is claimed (35 U.S.C. §119).
- ☐ A certified copy of the above corresponding foreign application(s) is filed herewith.
- ☐ The filing fee is calculated below:

**CLAIMS IN THE APPLICATION AFTER ENTRY OF
ANY PRELIMINARY AMENDMENT NOTED ABOVE**

FOR:	NO. FILED	NO. EXTRA
BASIC FEE		
TOTAL CLAIMS	20 - 20	= 0
INDEP CLAIMS	5 - 3	= 2
<input type="checkbox"/> MULTIPLE DEPENDENT CLAIMS PRESENTED		

* If the difference is less than zero, enter "0".

- ☒ Check No. 109283 in the amount of \$846 to cover the filing fee is attached. Except as otherwise noted herein, the Director is hereby authorized to charge any other fees that may be required to complete this filing, or to credit any overpayment, to Deposit Account No. 15-0461. Two duplicate copies of this sheet are attached.
- ☐ This application is entitled to small entity status. DO NOT charge large entity fees to our Deposit Account.

SMALL ENTITY

RATE	FEE
	\$ 345
x 9 =	\$
x 39 =	\$
+130 =	\$
TOTAL	\$

**OTHER THAN A
SMALL ENTITY**

RATE	FEE
	\$ 690
x 18 =	\$0
x 78 =	\$156
+260 =	\$0
TOTAL	\$846

Respectfully submitted,

Thomas J. Pardini

James A. Oliff
Registration No. 27,075

Thomas J. Pardini
Registration No. 30,411

JAO:TJP/trb

Date: June 12, 2000

Inventor Information

Inventor One Given Name:: Ken
Family Name:: Utagawa
Name Suffix::
City of Residence:: Yokohama-shi
State or Prov. of Residence::
Country of Residence:: Japan
Inventor Two Given Name::
Family Name::
Name Suffix::
City of Residence::
State or Prov. of Residence::
Country of Residence::
Inventor Three Given Name::
Family Name::
Name Suffix::
City of Residence::
State or Prov. of Residence::
Country of Residence::
Inventor Four Given Name::
Family Name::
Name Suffix::
City of Residence::
State or Prov. of Residence::
Country of Residence::
Inventor Five Given Name ::
Family Name::
Name Suffix::
City of Residence::
State or Prov. of Residence::
Country of Residence::

Correspondence Information

Name Line One:: Oliff & Berridge PLC
Address Line One:: P.O. Box 19928
City:: Alexandria
State or Province:: VA
Postal or Zip Code:: 22320
Telephone:: (703) 836-6400
Fax:: (703) 836-2787
Electronic Mail:: commcenter@oliff.com

Application Information

Title Line One:: METHOD FOR PROCESSING IMAGE,
RECORDING MEDIUM STORING IMAGE
PROCESSING PROGRAM
Title Line Two:: AND IMAGE PROCESSING APPARATUS

JC498 U.S. PRO
09/59285
06/12/00

Title Line Three::
Title Line Four::
Total Drawing Sheets:: 8
Docket Number:: 106477

Continuity Information

>This application is a::
Application One::
Filing Date::
Patent Number::
which is a::
>>Application Two::
Filing Date::
Patent Number::

Prior Foreign Applications

Foreign Application One:: 11-167214
Filing Date:: June 14, 1999
Country:: Japan
Priority Claimed:: Yes
Foreign Application Two:: 2000-154771
Filing Date:: May 25, 2000
Country:: Japan
Priority Claimed:: Yes
Foreign Application Three::
Filing Date::
Country::
Priority Claimed::

METHOD FOR PROCESSING IMAGE,
RECORDING MEDIUM STORING IMAGE PROCESSING PROGRAM
AND
IMAGE PROCESSING APPARATUS

INCORPORATION BY REFERENCE

The disclosures of the following applications are incorporated herein by reference:

Japanese Patent Application No. 11-167214 filed June 14, 1999.

Japanese Patent Application No. 2000-154771 filed May 25, 2000.

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

本発明は、デジタルスチルカメラ等の撮像素子で撮像される画像データに対してローパスフィルタリング処理を行う画像処理方法に関する。また、本発明は、その画像処理方法をコンピュータ上で実現するための画像処理プログラムを記録した記録媒体および画像処理プログラムを伝送ラインを介して伝送するデータ信号に関する。さらに、本発明は、その画像処理方法を実行する画像処理装置および電子カメラに関する。

2. Description of the Related Art

従来、画像データのノイズを除去する目的から、画像データにローパスフィルタリング処理を施すことが良く知られている。しかしながら、通常の等方的なフィルタリング処理、すなわち画面全体を一画的にフィルタリング処理する場合は、上記の効果は得られるものの、画像データが本来備えている微細構造が失われてしまう。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の目的は、画像の微細構造を失わないように、画像データにローパスフ

ィルタリング処理を施す画像処理技術を提供することである。

また本発明の他の目的は、従来除去が困難であったジャギー（傾斜エッジなどに発生するギザギザ）を的確に除去することが可能な画像処理技術を提供することである。

本発明は、画像データに対してローパスフィルタリングを施す画像処理方法に適用され、ローパスフィルタリング処理の対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手順と、類似性判定手順の判定結果に基づいて類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、対象画素の画素値に、対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手順とを備え、これにより、上記目的を達成する。

上記の画像処理方法では、まず、対象画素を含む局所領域において、少なくとも4つの方向（例えば、『縦』『横』『斜め上』『斜め下』）に画素ラインを設定する。これらの画素ラインごとに、画素間の特徴差（レベル差、色相差、彩度差など）を検出して、各方向の画素類似性を判定する。次に、この画素類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、対象画素の画素値に周辺画素の画素値を加重平均する。

したがって、画素類似性の低い方向については、小さな重み比率（ゼロも含む）で加重平均がなされるため、対象画素の画像構造をさほど損なうことがない。また、画素類似性の強い方向については、大きな重み比率で加重平均がなされるため、対象画素の微小な起伏（ノイズなど）を効果的に抑制することができる。

上記類似性判定手順においては、下記（１）（２）のいずれか一方の特徴差または両方の特徴差を用いて類似性の判定を行うのが好ましい。

（１）対象画素を通る所定方向のライン上に位置する複数の画素間の特徴差

（２）対象画素の近くを通る所定方向のライン上に位置する複数の画素間の特徴差

以下、場合に分けて説明を行う。

◎上記（１）の特徴差のみを使用して類似性判定を行う場合

上記（１）の特徴差が小さければ、対象画素と周辺画素との類似性（以下『中心ライン上の類似性』という）は高いと判定できる。

このような中心ライン上の類似性に基づいて重み比率を決定した場合、対象画素のもつ画像構造（エッジ構造など）を確実に保ちつつ、対象画素の微小な起伏（すなわちノイズ）を強く抑制することができる。

◎上記（２）の特徴差のみを使用して類似性判定を行う場合

上記（２）の特徴差が小さければ、対象画素の隣接ライン上における、周辺画素同士の類似性（以下『隣接ライン上の類似性』という）が高いと判定できる。このような隣接ライン上の類似性に基づいて重み比率を決定した場合、後述の実施形態の図３Ａ～図３Ｅにも示されるように、ジャギーを効果的に除去することが可能となる。以下、このような効果の理由について説明する。

通常、目立つジャギーは、傾斜エッジや傾斜ラインの境界線上に発生する。このようにジャギーを発生している画素は、周辺画素との連続性が顕著に途切れている。そのため、周辺との特徴差（上記（１）の特徴差に相当する）が大きく、ジャギー発生画素を中心に周辺との特徴差をとっても画像構造との区別がなかなかつかない。

そこで、ジャギー発生範囲（箇所）に隣接し、かつ各方向に伸びる隣接ラインに注目する。これら隣接ラインのうちで、傾斜エッジや傾斜ラインの境界線と略平行する方向に伸びる隣接ライン（以下『傾斜方向の隣接ライン』という）は、局所領域内において傾斜エッジや傾斜ラインの境界線内側（または外側）を通過する。このような境界線内側では、境界線の直上におけるジャギーの影響をさほど受けず、かつ画像構造上も濃淡差が少ないため、画素の連続性がよく保たれている。したがって、傾斜方向の隣接ラインの上では、画素間の特徴差は小さく、その結果、傾斜方向の類似性は高いと判定される。

一方、傾斜方向とは異なる方向へ伸びる隣接ラインは、傾斜エッジや傾斜ラインの境界線と交差したり、ジャギー発生箇所を直にまたぐため、画素の連続性が顕著に途切れてしまう。そのため、傾斜方向以外の隣接ラインでは、画素間の特徴差が大きく発生する。その結果、傾斜方向以外の隣接ラインについては、画素類似性が低いと判定される。

このような画素類似性の判定結果に従って、傾斜方向の重み比率が特に大きく設定される。そのため、ジャギー発生画素は、傾斜方向に沿って画素値が平滑化

されることなり、ジャギーが軽減する。このような傾斜方向の平滑化では、傾斜エッジや傾斜ラインの画像構造を保つ(ジャギーで崩れた線については修復する)ことができる。

このような理由から、上記(2)の特徴差を用いて類似性判定を行った場合、画像上のジャギーを効果的に除去し、併せてジャギーで崩れた画像構造を修復することも可能となる。

◎上記(1)(2)両方の特徴差を使用して類似性判定を行う場合

この場合、両方の特徴差について、類似性判定に反映する度合いを適宜に調整することが可能となる。その結果、上記した両方の効果を適宜に調整し、画像のノイズとジャギーとをバランス良く除去することが可能となる。

上記画素間の特徴差を、局所領域内の複数の画素の画素値間の差の絶対値として算出する場合、類似性判定手順は次のようにして類似性を判定する。

上記(1)(2)のいずれかの差の絶対値または(1)(2)の両方の差の絶対値を用いて、少なくとも4方向の第1の類似度 $t t 1, y y 1, n u 1, n s 1$ を算出する。第1の類似度が小さいほど画素間の類似の程度が高い。反対に、第1の類似度が大きいほど画素間の類似の程度が低い。次に、少なくとも4方向の第1の類似度 $t t 1, y y 1, n u 1, n s 1$ について平均またはメディアンを取ることで、第1の類似度の代表値 $m 1$ を算出する。さらに、少なくとも4方向の第1の類似度 $t t 1, y y 1, n u 1, n s 1$ と、代表値 $m 1$ とに基づいて、下記の非線形変換を実行して、第2の類似度 $t t 2, y y 2, n u 2, n s 2$ を算出する。

$$t t 2 = \max \{ m 1 - t t 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots [式1]$$

$$y y 2 = \max \{ m 1 - y y 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots [式2]$$

$$n u 2 = \max \{ m 1 - n u 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots [式3]$$

$$n s 2 = \max \{ m 1 - n s 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots [式4]$$

(ただし、上式中の δ, γ は予め定められた値であり、0の場合も含む)

第2の類似度が大きいほど画素間の類似の程度が高い。反対に、第2の類似度が小さいほど画素間の類似の程度が低い。このように算出された第2の類似度を用いて、方向依存性ローパスフィルタリングを次のように行うことができる。

算出した第2の類似度 $t t 2, y y 2, n u 2, n s 2$ に応じて、少なくとも4方向に位置する周辺画素の重み比率を決定し、この重み比率に基づいて、対象画素の画素値に、対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する。

以下、[式1～4]に示される非線形変換の特徴点[A]、[B]について説明する。

[A] 代表値 $m 1$ を基準にした相対的な変換である。

代表値 $m 1$ は、対象画素ごとに第1の類似度の平均（ふつうの加算平均、二乗平均、メディアン、あるいはその他の平均法でもよい）をとって決定される。[式1～4]では、max 演算の比較第1項の中で、このような代表値 $m 1$ と、第1の類似度 $t t 1, y y 1, n u 1, n s 1$ との差分をとる。この差分は、代表値 $m 1$ を基準にした相対差分である。[式1～4]において、説明をわかりやすくするため $\delta = 0, \gamma = 0$ の場合について考える。ある方向の画素間の類似性がその他の方向に比べて突出して高い、すなわち、上記ある方向の第1の類似度は小さく、上記その他の方向の第1の類似度が大きいような場合、代表値 $m 1$ はその中間の値となり、類似性が突出して高い方向の、上記差分により求めた第2の類似度は正となり、その他の方向に関しては上記差分は負の値になるが、0との大小比較により、0が採用されて、第2の類似度は0になる。

したがって、第1の類似度の逆数をとって第2の類似度とするなどの方式とは異なり、所定のしきい値より類似性の低い、画素並び方向に関する第2の類似度を、0にして、その方向の寄与を0とすることが可能となる。

なお、上記説明では、その説明を簡単にするために、 $\delta = 0, \gamma = 0$ の場合について述べた。しかしながら、 δ, γ に適当な数値を用いることで、第2の類似度を0にするためのしきい値を変更する自由度を与えて、類似性判定を最適化するアルゴリズムの自由度を増やすこともできる。

[B] すなわち、閾値 $(m 1 + \delta - \gamma)$ を上限値とした、非線形な変換（リミッタ）である。

第1の類似度が閾値 $(m 1 + \delta - \gamma)$ を上回ると、max 演算中の比較第1項は γ よりも小さくなる。この場合、[式1～4]の計算結果は、 γ の値に制限される。したがって、明らかに画像構造などに起因すると思われる『閾値以上の第1の類

似度』については、重み比率への反映を γ に制限することが可能となる。

好ましくは、この γ の値をゼロにしておけば、明らかに画像構造と思われる方向（類似性が特に低い方向）の重み比率がゼロとなる。この場合、類似性の低い方向の寄与を排除して、類似性の高い方向だけでローパスフィルタリングすることになるので、画像構造を確実に維持することが可能となる。

また、この γ の値を負の値としておけば、明らかに画像構造と思われる方向については、結果的にハイパスフィルタリング処理（重み比率が負の値）を施すこととなり、その方向の画像コントラストを強調することが可能となる。

上記の[A], [B]に説明したように、[式1～4]の非線形変換を使用することにより、ローパスフィルタリング処理の重み比率をより適切に決定することが可能となる。

上記画像データがカラー画像データの場合、類似性判定手順は、カラー画像データの2種類以上の色情報に基づいて類似性の判定を行う。したがって、1種類の色情報では差が現れないような色の境界を的確に判断して、方向依存性ローパスフィルタリング処理を適正に実行することが可能となる。すなわち同一輝度の色境界などのように画像構造の判断が困難な箇所を的確に判断することが可能となる。また、同一輝度の色境界などを十分保存しながら、ノイズやジャギーを抑制することが可能となる。

カラー画像データの2種類以上の色情報に基づいて類似性の判定を行う画像処理では、類似性判定手順は、補間処理前のカラー画像データを使用することができる。補間処理後に生じる偽色成分などによって、画像構造の方向性を誤判断するおそれがない。また、G全面補間前の情報で類似性の判定ができるので、処理の規模を小さくすることができる。

また、カラー画像データの2種類以上の色情報に基づいて類似性の判定を行う画像処理では、類似性判定手順は、所定方向の上記第1の類似度を、所定方向における複数の同色画素間および／または複数の異色画素間の特徴差を用いて算出し、算出された上記第1の類似度に応じて類似性の判定を行うことができる。

以下、場合に分けて説明を行う。

◎同色画素間の特徴差のみを使用して第1の類似度を算出する場合

同色画素間の特徴差を取ることで、高彩度な局所領域において画像構造の方向性を正確に判断することができる。

◎異色画素間の特徴差のみを使用して第1の類似度を算出する場合

最近接画素間の特徴差を取ることなどが可能となり、より微細な画像構造の方向性を判断することが可能となる。ただし、高彩度な局所領域では類似性に関して適切な結果を与えない場合があるので、その点に留意することが好ましい。

◎同色画素間および異色画素間の特徴差を使用して第1の類似度を算出する場合

この場合、類似性判定に反映する両特徴差の度合いを適宜に調整することが可能となる。その結果、上記した両方の利点を兼ね合わせて、画像構造の方向性を最適に判断することが可能となる。

異色画素間の特徴差を算出する際、ホワイトバランス処理後のカラー画像データを使用することができる。この場合、ホワイトバランス処理によって、カラー画像データの極端な色の偏りが抑制される。したがって色の偏りが特徴差として現れるおそれが少なく、画像構造の方向性を正確に判断することが可能となる。

異色画素間の特徴差を算出する際、類似性判定手順は、ローパスフィルタリング処理の対象画素について彩度を検出し、検出した彩度に対応して、複数の異色画素の特徴差の寄与率を可変としてもよい。一般に、極端に高彩度な箇所では、異色画素間の特徴差が大きくなるため、これを画像構造の方向性と誤って判断するおそれが高い。そこで、彩度に対応して、異色画素間の特徴差の寄与率を可変すれば、画像構造の方向性をより正確に判断することが可能となる。

画像処理対象の画像データが、色成分が欠落した画素について補間処理が施された画像データである場合、方向依存性ローパスフィルタリング手順では、補間処理が実施された画素のみを対象画素としてローパスフィルタリング処理を施す。

通常、補間処理に起因して偽色やジャギーが発生する場合がある。本発明の画像処理方法は、このような偽色やジャギーを軽減する上で有効な方法である。そこで、補間処理が実施されて偽色やジャギーを発生している可能性のある画素に対して、本発明のローパスフィルタリング処理を重点的にかける。その結果、補間処理に起因する偽色やジャギーを確実に軽減することが可能となる。

一方、非補間画素に対しては、ローパスフィルタリング処理を施さない（また

は弱くかける)。したがって、非補間画素については、データが忠実に保存される。したがって、ユーザー側では、非補間画素の忠実なデータに基づいて、所望の画像処理を後日改めて実施することなどが可能となる。

画像処理対象の画像データが、色成分が欠落した画素について補間処理が施された画像データである場合、類似性判定手順は、ローパスフィルタリング処理に先だって、補間処理が実施された画素の画素値を、その画素近傍の所定領域における画素最大値または最小値に対応する境界値で制限するのが好ましい。

特殊な補間処理においては、補間画素にピークが生じる場合がある。このような補間画素のピークを、ローパスフィルタリング処理に先立って制限する。したがって、ローパスフィルタリング処理を介して補間画素のピークが周辺画素に拡大しなくなり、画質が向上する。

画像処理対象の画像データが、画素密度の一番高い第1色と、空格子を有して画素密度の低い第2色とを少なくとも有するカラー画像データの場合、画像処理手順は、第2色の存在する画素について、第2色と第1色の色差をとる色差算出手順と、第2色の存在しない画素について、色差算出手順で得た色差に基づいて色差補間値を求める色差補間手順と、色差補間手順で求めた色差補間値と第1色とに基づいて、第2色を復元する第2色復元手順とを有する。この場合、色差算出手順において、色差の算出に使用する第1色は、ローパスフィルタリング処理前の第1色である。

上記の画像処理方法では、色差の算出に際して、ローパスフィルタリング処理前の第1色を使用するので、ローパスフィルタリング処理前の豊富な情報量に基づいて色差を求め、その豊富な情報量の色差に基づいて、なるべく元画像に忠実な補間処理を実施することが可能となる。

上記第2色復元手順において、第2色の復元に使用する第1色を、ローパスフィルタリング処理後の第1色とするのが好ましい。ローパスフィルタリング処理により、第1色についてはノイズまたはジャギーが適度に抑制されている。このローパスフィルタリング処理後の第1色を、補間処理後の色差に加算（または乗算）して、第2色を生成する。この場合、第1色を介して、第2色に混入するノイズやジャギーが少なくなり、第2色に対するその後の画像処理（ローパスフ

ルタリング処理など)を省いたり、軽減することが可能となる。

画素密度の一番高い第1色と、空格子を有して画素密度の低い第2色とを少なくとも有するカラー画像データに対する画像処理では、方向依存性ローパスフィルタリング手順では、第1色から重み比率を求め、その重み比率を用いて第2色または色差を加重平均する。第1色は画素密度が一番高いため、第1色から求めた重み比率は、画像の起伏を最も高精度に反映した重み比率となる。このような重み比率を利用して、第2色(または色差)にローパスフィルタリング処理を施すことにより、第2色に対して的確なローパスフィルタリング処理を施すことが可能となる。また、この場合は、第1色のローパスフィルタリング処理時に求めた重み比率を流用することが可能となる。したがって、第2色用に重み比率を新たに算出するなどの手間を省くことが可能となり、画像処理の所要時間を短縮することが可能となる。

上記方向依存性ローパスフィルタリング手順では、少なくとも、類似性の最も低い方向の重み比率を実質的にゼロにすることもできる。

このように、類似性の最も低い方向の重み比率を実質的にゼロにすることにより、その方向の画像構造を確実に維持することが可能となり、ローパスフィルタリング処理による画像の崩れを確実に防ぐことができる。

画像処理対象の画像データが、撮像対象からの反射光をベイヤ配列のカラーフィルタで色分解して生成される場合、類似性判定手順では、色分解されたRGBの画素データから構成された画像データそのもの(原画像データと呼ぶ)、原画像データから生成されたG色の画像データ、または、原画像データから生成された輝度の画像データに対して、類似性を判定する。この場合、ローパスフィルタリング手順では、類似性判定手順で判定された類似性に基づいて、原画像データから生成されたG色の画像データ、原画像データから生成されたR色の画像データ、原画像データから生成されたB色の画像データ、原画像データから生成された輝度の画像データ、または、原画像データから生成されたRGB各色間の色差の画像データに対して、ローパスフィルタリングを行う。

本発明は、画像データに対して少なくともローパスフィルタリングを行う画像処理装置および電子カメラにも適用できる。この画像処理装置および電子カメラ

はそれぞれ、ローパスフィルタリング処理の対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手段と、類似性判定手段の判定結果に基づいて類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、対象画素の画素値に、対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手段とを備える。

本発明は、画像データに対して少なくともローパスフィルタリングを行う画像処理用プログラムを記録する記録媒体にも適用できる。また、この画像処理用プログラムを伝送ラインを介して伝送するデータ信号にも本発明は適用できる。本発明の記録媒体として、電子カメラなどの携帯型情報装置に装着可能な記録媒体（例えばメモリカードなど）を使用することもできる。この場合、携帯型情報装置は、装着された記録媒体から画像処理プログラムを読み出して実行する。

BRIEF DESCRIPTION OF DRAWINGS

図1は、第1の実施形態における画像処理プログラムを示す図である。

図2は、第1の類似度の計算を説明するための図である。

図3は、ディスプレイ上の中間調画像の写真である。

図4は、電子カメラ11の構成ブロック図である。

図5は、第2の実施形態における画像処理プログラムを示す流れ図である。

図6は、画像処理プログラムの動作手順を説明するための図である。

図7は、電子カメラの画像処理動作を説明する流れ図である。

図8は、電子カメラの画像処理動作を説明する流れ図である。

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT(S)

以下、図面を用いて、発明の実施形態について説明する。

《第1の実施形態》

第1の実施形態による画像処理方法は、コンピュータ上において、画像処理プログラムを実行して行われる。この画像処理プログラムをCD-ROMなどの記録媒体に記録した場合は、コンピュータにセットされた記録媒体からコンピュータ内のハードディスク上に画像処理プログラムを展開して使用する。あるいは、

インターネットなどの通信回線網を経由して画像処理プログラムをコンピュータ内のハードディスク上にダウンロードして使用してもよい。

図1は、この画像処理プログラムの動作手順を説明する流れ図である。以下、図1に示す動作手順に従って、第1の実施形態による画像処理の動作を説明する。まず、コンピュータは、処理対象とする画像ファイルを読み出し、処理対象となる画像データをメモリ上に展開して格納する(ステップS1)。この画像処理は、このようにメモリ上に展開された単色の画像データに対して実施される。単色の画像データには、カラー画像の各色ごとの画像データや、複数色から合成した輝度画像データが含まれる。コンピュータは、この画像データの中からi行j列目に位置する対象画素FG[i, j]を一つ選択し、その対象画素を中心にして5行5列程度の局所領域を設定する(ステップS2)。処理対象となる画像データは、n行m列の複数の画素のデータであり、各画素のデータは画素値と呼ばれる信号レベルをそれぞれ有している。したがって、画素レベルとは画素値の信号レベルを意味する。なお、この対象画素は、撮像素子の画素(pixel)そのものを指称するものではない。

コンピュータは、上述した局所領域内の画素間レベル差に基づいて下式を計算し、4方向(縦、横、斜め上、斜め下)の第1の類似度 $t_{t1}, y_{y1}, n_{n1}, s_{s1}$ をそれぞれ算出する(ステップS3)。なお、縦方向とはn行m列の画像データの列方向であり、横方向とはn行m列の画像データの行方向である。

縦方向の第1の類似度 t_{t1} ：

$$\begin{aligned} t_{t1} = & a \times (|FG[i, j] - FG[i, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i, j+1]|) \\ & + b \times (|FG[i, j+1] - FG[i, j-1]| + |FG[i-1, j] - FG[i-1, j+2]| \\ & + |FG[i-1, j] - FG[i-1, j-2]|) \\ & + c \times (|FG[i, j+1] - FG[i, j-1]| + |FG[i+1, j] - FG[i+1, j+2]| \\ & + |FG[i+1, j] - FG[i+1, j-2]|) \end{aligned}$$

・・・[式5]

横方向の第1の類似度 y_{y1} ：

$$\begin{aligned} y_{y1} = & a \times (|FG[i, j] - FG[i-1, j]| + |FG[i, j] - FG[i+1, j]|) \\ & + b \times (|FG[i+1, j] - FG[i-1, j]| + |FG[i, j-1] - FG[i+2, j-1]|) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + |FG[i, j-1] - FG[i-2, j-1]|) \\
& + c \times (|FG[i+1, j] - FG[i-1, j]| + |FG[i, j+1] - FG[i+2, j+1]| \\
& + |FG[i, j+1] - FG[i-2, j+1]|)
\end{aligned}$$

・・・[式6]

斜め上方向の第1の類似度 $n u 1$:

$$\begin{aligned}
n u 1 = & a \times (|FG[i, j] - FG[i+1, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i-1, j+1]|) \\
& + b \times (|FG[i-2, j+1] - FG[i-1, j]| + |FG[i-1, j] - FG[i, j-1]| \\
& + |FG[i, j-1] - FG[i+1, j-2]|) \\
& + c \times (|FG[i-1, j+2] - FG[i, j+1]| + |FG[i, j+1] - FG[i+1, j]| \\
& + |FG[i+1, j] - FG[i+2, j-1]|)
\end{aligned}$$

・・・[式7]

斜め下方向の第1の類似度 $n s 1$:

$$\begin{aligned}
n s 1 = & a \times (|FG[i, j] - FG[i-1, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i+1, j+1]|) \\
& + b \times (|FG[i-2, j-1] - FG[i-1, j]| + |FG[i-1, j] - FG[i, j+1]| \\
& + |FG[i, j+1] - FG[i+1, j+2]|) \\
& + c \times (|FG[i-1, j-2] - FG[i, j-1]| + |FG[i, j-1] - FG[i+1, j]| \\
& + |FG[i+1, j] - FG[i+2, j+1]|)
\end{aligned}$$

・・・[式8]

図2A～2Dは、上記の[式5～8]の演算式をそれぞれ図示したものである。図2A～2D中において、両端向きの矢印はレベル差算出を行う画素位置を示し、矢印上の a 、 b はレベル差の比例定数を表す。なお、図示していない比例定数 c の項については、対象画素を挟んで、比例定数 b の項と対称関係に位置する。

コンピュータは、4方向の第1の類似度について、下記の平均演算を行い、代表値 $m 1$ を算出する（ステップS4）。

$$m 1 = (t t 1 + y y 1 + n u 1 + n s 1) / 4 \quad \dots [式9]$$

続いて、コンピュータは、4方向の第1の類似度 $t t 1$ 、 $y y 1$ 、 $n u 1$ 、 $n s 1$ と、代表値 $m 1$ とに基づいて、次の非線形変換を実施し、4方向の第2の類似度 $t t 2$ 、 $y y 2$ 、 $n u 2$ 、 $n s 2$ を算出する（ステップS5）。

$$t t 2 = \max \{ m 1 - t t 1 + \delta, \gamma \} \cdots [\text{式} 10]$$

$$y y 2 = \max \{ m 1 - y y 1 + \delta, \gamma \} \cdots [\text{式} 11]$$

$$n u 2 = \max \{ m 1 - n u 1 + \delta, \gamma \} \cdots [\text{式} 12]$$

$$n s 2 = \max \{ m 1 - n s 1 + \delta, \gamma \} \cdots [\text{式} 13]$$

例えば、 $\delta = 0$ 、 $\gamma = 0$ である。

[式 5 - 8] からわかるように、比較される画素値の差の絶対値を第 1 の類似度と定義しているの、第 1 の類似度の値が小さいほど画素間の類似性が高く、値が大きいほど画素間の類似性が低い。したがって、第 1 の類似度を非類似度と呼ぶこともできる。一方、[式 10 - 13] からわかるように、第 1 の類似度の代表値と第 1 の類似度との差を第 2 の類似度と定義しているの、第 2 の類似度の値が大きいほど画素間の類似性が高く、値が小さいほど画素間の類似性が低い。したがって、第 2 の類似度は類似度と呼ぶこともできる。

なお、複数の画素の画素値を乗算して画素データの類似性を判定してもよい。この場合、乗算結果が大きいほど類似性が高いことを示す。

コンピュータは、4 方向の第 2 の類似度 $t t 2$ 、 $y y 2$ 、 $n u 2$ 、 $n s 2$ を正規化して、4 方向の重み比率 $t t$ 、 $y y$ 、 $n u$ 、 $n s$ を求める (ステップ S 6)。

$$m 2 = t t 2 + y y 2 + n u 2 + n s 2 \cdots [\text{式} 14]$$

$$t t = t t 2 / m 2 \cdots [\text{式} 15]$$

$$y y = y y 2 / m 2 \cdots [\text{式} 16]$$

$$n u = n u 2 / m 2 \cdots [\text{式} 17]$$

$$n s = n s 2 / m 2 \cdots [\text{式} 18]$$

コンピュータは、対象画素 $F G [i, j]$ に周辺画素を加重平均し、ローパスフィルタリング処理後の対象画素 $G [i, j]$ を [式 19] により算出する (ステップ S 7)。

$$\begin{aligned} G [i, j] = & \{ F G [i, j] \\ & + k \times t t (F G [i, j-1] + F G [i, j+1]) \\ & + k \times y y (F G [i-1, j] + F G [i+1, j]) \\ & + k \times n u (F G [i-1, j+1] + F G [i+1, j-1]) \end{aligned}$$

$$+k \times n s \{ F G [i-1, j-1] + F G [i+1, j+1] \} / (1+k \times 2) \quad \cdots [式 19]$$

ただし、 k はローパスフィルタリング処理の強さを調整する定数値であり、例えば、 $k=1/2$ である。

コンピュータは、このローパスフィルタリング処理後の対象画素 $G[i, j]$ を、メモリ上に設けられるローパスフィルタリング処理結果の記憶領域に記録する（ステップ S 8）。ここで、コンピュータは、全画素についてローパスフィルタリング処理が完了したか否かを判断する（ステップ S 9）。ローパスフィルタリング処理が完了していない場合（ステップ S 9 の NO 側）、コンピュータは、新たな対象画素を画像データの中から選んだ後（ステップ S 10）、上述したステップ S 2 に動作を戻す。一方、ローパスフィルタリング処理が全画素について完了した場合（ステップ S 9 の YES 側）、コンピュータは、ローパスフィルタリング処理後の画像データを、所定形式の画像ファイルに変換するなどした後、動作を終了する。

以上説明した第 1 の実施形態による画像処理の利点について図 3 A－3 E を参照して説明する。図 3 A－3 E は、ディスプレイ上の中間調画像の写真である。

図 3 A は、ローパスフィルタリング処理前の元画像データである。なお、図中には、画像の微細構造、ジャギー A、B の発生箇所を白点線で囲って示す。

図 3 B は、方向依存性のないローパスフィルタリング処理を施した画像データである。なお、このローパスフィルタリング処理は、対象画素の重み係数を $1/2$ 、周辺 8 画素の重み係数を均等に $1/16$ とした局所平均演算処理である。この場合、画像全体のノイズは低減する。しかしながら、画像の鮮明度も落ち、画像の微細構造はかなり失われる。また、ジャギー A、B は依然として残存し、傾斜ライン上のギザギザが目立つ。

図 3 C は、第 1 の類似度の計算式 [式 5～8] において、比例定数を $a=1$ 、 $b=c=0$ として、本実施形態のローパスフィルタリング処理を施した画像データである。この場合のローパスフィルタリング処理は、図 2 A－2 D に示されるように、対象画素を通る中心ライン L_c 上の画素間レベル差を主として、第 1 の類似度を算出したケースである。このようなローパスフィルタリング処理により、

画像全体のノイズは低減する。また、画像の鮮明度の低下は見られず、画像の微細構造もよく保持される。さらに、ジャギー-Bには一応の改善が見られる。しかしながら、ジャギー-Aについては依然として残存し、傾斜ライン上のギザギザが目立っている。

図3Dは、第1の類似度の計算式〔式5～8〕において、比例定数を $b=1$ 、 $a=c=0$ として、本実施形態のローパスフィルタリング処理を施した画像データである。この場合のローパスフィルタリング処理は、図2A～2Dに示されるように、対象画素に隣接する隣接ライン L_n 上の画素間レベル差を主として、第1の類似度を算出したケースである。このようなローパスフィルタリング処理により、画像全体のノイズは低減する。また、画像の鮮明度は若干低下し、画像の微細構造が僅かに損なわれている。一方、ジャギー-A、Bについては顕著な改善が見られ、傾斜ライン上のギザギザが小さな画素単位に分散（平滑化）されて、明らかに目立たなくなっている。

図3Eは、第1の類似度の計算式〔式5～8〕において、比例定数を $a=b=1$ 、 $c=0$ として、本実施形態のローパスフィルタリング処理を施した画像データである。この場合のローパスフィルタリング処理は、図2A～2Dに示されるように、『中心ライン L_c 上の画素間レベル差』および『隣接ライン L_n 上の画素間レベル差』の両方に基づいて、第1の類似度を算出したケースである。このようなローパスフィルタリング処理により、画像全体のノイズは低減する。また、画像全体の鮮明度は低下せず、画像の微細構造はよく維持されている。さらに、ジャギー-A、Bについても顕著な改善が見られ、傾斜ライン上のギザギザが小さな画素単位に分散されて、明らかに目立たなくなっている。

上述した第1の実施形態では、画素間のレベル差に基づいて第1の類似度を算出しているが、これに限定されるものではない。一般的には、画素間の特徴の違いに基づいて第1の類似度を算出すればよい。例えば、カラー画像であれば、色相差や彩度差などに基づいて第1の類似度を算出してもよい。画像データをフィルタリング処理して得た画像を用いて上記特徴の違いを抽出して第1の類似度を算出してもよい。

また、上述した実施形態では、〔式5～8〕を用いて第1の類似度を算出して

るが、これに限定されるものではない。一般的には、対象画素を含む局所領域内において、対象画素を通る中心ライン L_c と、対象画素に隣接する隣接ライン L_n とを設定する。そして、これらライン L_c 、 L_n 上において、隣接する画素間、もしくは1画素だけ間において並ぶ画素間の特徴差をそれぞれ求め、この特徴差を所定比率で加算することにより第1の類似度 t_{t1} 、 y_{y1} を算出してもよい。

例えば、下記の〔式20〕を用いて第1の類似度 t_{t1} 、 y_{y1} を算出してもよい。

縦方向の第1の類似度 t_{t1} ：

$$\begin{aligned} t_{t1} = & a \times (|FG[i, j] - FG[i, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i, j+1]|) \\ & + b \times (|FG[i-1, j] - FG[i-1, j+2]| + |FG[i-1, j] - FG[i-1, j-2]|) \times s \\ & + c \times (|FG[i+1, j] - FG[i+1, j+2]| + |FG[i+1, j] - FG[i+1, j-2]|) \times s \\ & \dots \text{〔式20〕} \end{aligned}$$

横方向の第1の類似度 y_{y1} ：

$$\begin{aligned} y_{y1} = & a \times (|FG[i, j] - FG[i-1, j]| + |FG[i, j] - FG[i+1, j]|) \\ & + b \times (|FG[i, j-1] - FG[i+2, j-1]| + |FG[i, j-1] - FG[i-2, j-1]|) \times s \\ & + c \times (|FG[i, j+1] - FG[i+2, j+1]| + |FG[i, j+1] - FG[i-2, j+1]|) \times s \\ & \dots \text{〔式21〕} \end{aligned}$$

ただし、 s は、絶対値の加算項の数が斜め方向に比べて少ないことを補うための係数であり、例えば1～1.5に設定される。

また、上述した実施形態では、〔式9～13〕を用いて第2の類似度を算出しているが、これに限定されるものではない。例えば、〔式9～13〕の代わりに、下記の〔式101～107〕を用いて第2の類似度を算出してもよい。

$$\begin{aligned} t_y = & t_{t1} - y_{y1} & \dots \text{〔式101〕} \\ u_s = & n_{u1} - n_{s1} & \dots \text{〔式102〕} \\ t_{t2} = & \max\{-t_y, 0\} & \dots \text{〔式103〕} \\ y_{y2} = & \max\{t_y, 0\} & \dots \text{〔式104〕} \\ n_{u2} = & \max\{-u_s, 0\} & \dots \text{〔式105〕} \\ n_{s2} = & \max\{u_s, 0\} & \dots \text{〔式106〕} \\ \text{if } & t_{t2} + y_{y2} + n_{u2} + n_{s2} = 0 \end{aligned}$$

then tt2=1, yy2=1, nu2=1, ns2=1・・・[式107]

この[式101～106]では、次の独立した処理①②が一度になされている。

①『縦と横』、『斜め上と斜め下』などといった略直交する2方向において、類似性のより低い方向は、方向依存性ローパスフィルタリング処理の重み比率が実質ゼロに設定される。

②『縦と横』、『斜め上と斜め下』などといった略直交する2方向において、類似性のより高い方向は、方向依存性ローパスフィルタリング処理の重み比率が『2方向の第1の類似度の差の絶対値』に基づいて決定される。

上記の処理①では、略直交する2方向の内、どちらか1方向のみについてローパスフィルタリング処理が実行される。したがって、略直交する2方向にローパスフィルタリング処理が同時に施されることはなく、画像構造の方向性をより明確に維持することが可能となる。

一方、上記の処理②では、略直交する2方向の第1の類似度が明らかに異なるほど、類似性のより高い方向にかかるローパスフィルタリング処理が強くなる。したがって、明らかに類似している方向に対して強力にノイズやジャギーを軽減することが可能となる。

次に、別の実施形態について説明する。

《第2の実施形態》

第2の実施形態は、第1の実施の形態と同様な画像処理方法で撮像画像を処理する電子カメラに関する。図4は、第2の実施の形態の電子カメラ11の構成ブロック図である。

図4において、電子カメラ11には撮影レンズ12が装着される。この撮影レンズ12の像空間には、撮像素子13の受光面が配置される。撮像素子13から出力されるRGBの画像データは、A/D変換部14を介してデジタル化された後、マイクロプロセッサからなる画像処理部15に入力される。画像処理部15には、データバス16を介して読み出し専用メモリ17および画像メモリ18などが接続される。読み出し専用メモリ17には画像処理プログラムが記録されている。画像処理部15は、この画像処理プログラムを読み出して実行する。

図5は、この画像処理プログラムの動作手順を示す流れ図である。図6は、画

像処理の各過程における画像データを示すデータフローである。以下、図4～図6を用いて、本実施形態の画像処理動作について説明する。

撮像素子13から出力される画像データORGは、3色RGBがベイヤ配列されたデータである。この画像データORGの画素一つ一つには、ベイヤ配列のルールに従って、G[○, △], R[○, △], B[○, △]のいずれか1つの画素値が割り当てられている。[○, △]は画素位置を特定する行と列を表している。

画像処理部15は、この画像データORGを取り込み、以下の手順で画像処理を実行する。ステップごとに説明する。

◎ステップS21：補間処理用の第1の類似度計算

まず、画像処理部15は、G色成分が欠落している画素、すなわち空格子点[i, j]を対象に、下記の[式22～27]を実行し、縦方向の第1の類似度Cv0および横方向の第1の類似度Ch0を算出する。

$$Cv1 = |G[i, j-1] - G[i, j+1]| \quad \cdot \cdot \cdot [式22]$$

$$Cv2 = (|G[i, j-1] - Z[i, j]| + |G[i, j+1] - Z[i, j]|) / 2 \quad \cdot \cdot \cdot [式23]$$

$$Ch1 = |G[i-1, j] - G[i+1, j]| \quad \cdot \cdot \cdot [式24]$$

$$Ch2 = (|G[i-1, j] - Z[i, j]| + |G[i+1, j] - Z[i, j]|) / 2 \quad \cdot \cdot \cdot [式25]$$

$$Cv0[i, j] = A1 \cdot Cv1 + A2 \cdot Cv2 \quad \cdot \cdot \cdot [式26]$$

$$Ch0[i, j] = A1 \cdot Ch1 + A2 \cdot Ch2 \quad \cdot \cdot \cdot [式27]$$

ただし、ZはR、Bいずれかの値を使用する。また、A1、A2は重み係数であり、少なくとも一方は零以外の値である。代表的にはA1=A2=1。

◎ステップS22：第1の類似度の平滑化処理

次に、画像処理部15は、第1の類似度Cv0、Ch0について、下記の[式28、29]を用いて近傍平均をとり、第1の類似度Cv、Chを算出する。

$$Cv[i, j] = (4 \cdot Cv0[i, j] + Cv0[i-1, j-1] + Cv0[i+1, j-1] + Cv0[i-1, j+1] + Cv0[i+1, j+1]) / 8 \quad \cdot \cdot \cdot [式28]$$

$$Ch[i, j] = (4 \cdot Ch0[i, j] + Ch0[i-1, j-1] + Ch0[i+1, j-1] + Ch0[i-1, j+1] + Ch0[i+1, j+1]) / 8 \quad \cdot \cdot \cdot [式29]$$

なお、この近傍平均を省略して

$$Cv[i, j] = Cv0[i, j]$$

$Ch[i, j] = Ch0[i, j]$

としてもよい。

◎ステップS23：第1の類似度に基づく補間方向の判定

次に、画像処理部15は、下記の条件判定に従って、方向フラグHVを設定する。

縦類似の判定： $Cv[i, j] + th0 < Ch[i, j]$ ならば、 $HV[i, j] = 1$ とする

横類似の判定： $Ch[i, j] + th0 < Cv[i, j]$ ならば、 $HV[i, j] = -1$ とする

方向性判別：上記以外は $HV[i, j] = 0$ とする

例えば、 $th0$ は、 $G(i, j)$ のとりうる範囲が $0 \sim 255$ の場合、 $0 \sim$ 数十程度の閾値である。

◎ステップS24：Gの補間演算

画像処理部15は、方向フラグHVに従って、下記の補間演算を実行する。

G成分がある画素、すなわち非空格点の場合： $FG[i, j] = G[i, j]$ とする

縦類似の場合： $HV[i, j] = 1$ ならば、 $FG[i, j] = Gv$ とする

横類似の場合： $HV[i, j] = -1$ ならば、 $FG[i, j] = Gh$ とする

方向性判別の場合： $HV[i, j] = 0$ ならば、 $FG[i, j] = (Gv + Gh) / 2$ とする

上記の Gv および Gh は、下式の値である。

$$Gv = (G[i, j-1] + G[i, j+1]) / 2 + C1 \cdot (2 \cdot Z[i, j] - Z[i, j-2] - Z[i, j+2]) / 4$$

$$Gh = (G[i-1, j] + G[i+1, j]) / 2 + C1 \cdot (2 \cdot Z[i, j] - Z[i-2, j] - Z[i+2, j]) / 4$$

ここで、 $C1$ は所定の定数であり、零又は1又はその中間値である。

◎ステップS25：RおよびBの色差変換

画像処理部15は、それぞれR色成分およびB色成分を元々有する画素の位置に関して、補間後のGを基準にして、下記の色差変換を実行する。

$$DR[i, j] = R[i, j] - FG[i, j] \quad \cdots \text{[式30]}$$

$$DB[i, j] = B[i, j] - FG[i, j] \quad \cdots \text{[式31]}$$

◎ステップS26：色差補間

画像処理部15は、このように算出された色差データについて、下記の補間処理を実行する。

対象となる画素の上下にRの画素がある場合：

$$FDR[i, j] = (DR[i, j-1] + DR[i, j+1]) / 2$$

対象となる画素の左右に R の画素がある場合：

$$FDR[i, j] = (DR[i-1, j] + DR[i+1, j]) / 2$$

対象となる画素の斜めに R の画素がある場合：

$$FDR[i, j] = (DR[i-1, j-1] + DR[i-1, j+1] + DR[i+1, j-1] + DR[i+1, j+1]) / 4$$

対象となる画素の上下に B の画素がある場合：

$$FDB[i, j] = (DB[i, j-1] + DB[i, j+1]) / 2$$

対象となる画素の左右に B の画素がある場合：

$$FDB[i, j] = (DB[i-1, j] + DB[i+1, j]) / 2$$

対象となる画素の斜めに B の画素がある場合：

$$FDB[i, j] = (DB[i-1, j-1] + DB[i-1, j+1] + DB[i+1, j-1] + DB[i+1, j+1]) / 4$$

◎ステップ S 2 7：G 補間値の範囲制限

画像処理部 1 5 は、G 補間値について、周辺 8 画素の最大値 G_{max} 、最小値 G_{min} を用いて範囲制限を行う。

最大値以上の場合： $FG[i, j] > (G_{max} + Th4)$ ならば、 $FG[i, j] = G_{max}$ とする

最小値以下の場合： $FG[i, j] < (G_{min} - Th4)$ ならば、 $FG[i, j] = G_{min}$ とする

なお、 $Th4$ は、補間値のピークをどこまで許容するかを決定する閾値である。

また、周辺画素数は 8 個である必要はなく、6 個程度以上あればよい)

◎ステップ S 2 8：G 補間画素に対するローパスフィルタリング処理

画像処理部 1 5 は、G 補間画素について、第 1 の実施形態の画像処理と同様の方向依存性ローパスフィルタリング処理を実行する。この場合、次の 2 通りのローパスフィルタリング処理が可能である。

(a) 第 1 の実施形態の画像処理と同様に、すべての G 画素について方向依存性ローパスフィルタリング処理を施す。

(b) 補間処理されていない G 画素については、方向依存性ローパスフィルタリング処理を実行せず、補間処理された G 画素のみに方向依存性ローパスフィルタリング処理を施す。

◎ステップ S 2 9：色差補間で形成された面の画像データ、すなわち色差補間データに対するローパスフィルタリング処理

画像処理部 15 は、補間処理後の G 面について、第 1 の実施形態の画像処理と同様にして重み比率 $t t$, $y y$, $n u$, $n s$ を算出する。ステップ S 28 で既に重み比率を求めていた画素位置については、その重み比率を再利用する。

画像処理部 15 は、色差補間画像データについて、この重み比率に基づく方向依存性ローパスフィルタリング処理を下式により実行する。

$$\begin{aligned} \text{Tmp_DR}[i, j] = & \text{FDR}[i, j] \\ & + k \times t t (\text{FDR}[i, j-1] + \text{FDR}[i, j+1]) \\ & + k \times y y (\text{FDR}[i-1, j] + \text{FDR}[i+1, j]) \\ & + k \times n u (\text{FDR}[i-1, j+1] + \text{FDR}[i+1, j-1]) \\ & + k \times n s (\text{FDR}[i-1, j-1] + \text{FDR}[i+1, j+1]) / (1+k \times 2) \\ & \dots \text{[式 3 2]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tmp_DB}[i, j] = & \text{FDB}[i, j] \\ & + k \times t t (\text{FDB}[i, j-1] + \text{FDB}[i, j+1]) \\ & + k \times y y (\text{FDB}[i-1, j] + \text{FDB}[i+1, j]) \\ & + k \times n u (\text{FDB}[i-1, j+1] + \text{FDB}[i+1, j-1]) \\ & + k \times n s (\text{FDB}[i-1, j-1] + \text{FDB}[i+1, j+1]) / (1+k \times 2) \\ & \dots \text{[式 3 3]} \end{aligned}$$

ただし、 k はローパスフィルタリング処理の強さを調整する定数値であり、例えば $k = 1 / 2$ である。

画像処理部 15 は、上記の加重平均が画面全体について完了した後、下記の置き換えを実行する。

$$\text{FDR}[i, j] = \text{Tmp_DR}[i, j]$$

$$\text{FDB}[i, j] = \text{Tmp_DB}[i, j]$$

◎ステップ S 30 : R、B の復元

画像処理部 15 は、色差面データに対して、ローパスフィルタリング処理後の G 面を加算して、R および B を復元する。

$$\text{FR}[i, j] = \text{FG}[i, j] + \text{FDR}[i, j] \quad \dots \text{[式 3 4]}$$

$$\text{FB}[i, j] = \text{FG}[i, j] + \text{FDB}[i, j] \quad \dots \text{[式 3 5]}$$

画像処理部 15 は、以上のようにして求めた、 $\text{FR}[i, j]$ 、 $\text{FG}[i, j]$ 、 $\text{FB}[i, j]$

を記録装置などへ出力する。

以上説明した第2の実施形態による電子カメラの利点について説明する。

第2の実施形態による電子カメラにおいても、第1の実施形態と同様な利点がある。さらに、第2の実施形態による電子カメラには次のような利点もある。

(1) 画像処理部15はG補間画素、色差補間画素に対してローパスフィルタリング処理をかける。したがって、補間処理に起因する偽色やジャギーを十分に軽減することが可能となる。また、画像処理部15が、G補間画素、色差補間画素以外の非補間画素にローパスフィルタリング処理をかけない場合、元々の画像データを忠実に維持し、かつ処理時間を短縮することができる。なお、全画素に対してローパスフィルタリング処理をかけた場合には、十分にジャギーなどを除去した滑らかな画像を得ることができる。

(2) 画像処理部15は、補間画素のピークを、ローパスフィルタリング処理に先立って範囲制限する。したがって、補間画素のピークを目立たなくすると同時に、補間画素のピークが周辺画素に拡大するのを防ぐことができる。

(3) 画像処理部15は、情報量が豊富なローパスフィルタリング処理前のG色成分を基準にして色差を求める。したがって、色差の情報量が豊かになり、より的確な色差補間を行うことが可能となる。

(4) 画像処理部15は、色差からR(B)色成分を復元するにあたり、ローパスフィルタリング処理後のG色成分を使用する。したがって、G色成分を介して、R(B)色成分にノイズやジャギーが混入する不具合を防止することができる。

(5) 画像処理部15は、情報量の豊富なG色成分について重み比率を求め、その重み比率を利用して、R(B)色成分にローパスフィルタリング処理を施す。したがって、R(B)色成分のデータで重み比率を算出する場合に比べて、精度の高い方向依存性ローパスフィルタリング処理を施すことが可能となる。

なお、本発明者は、上述した実施形態において補間処理の前後どちらに階調変換(階調補正も含む)を行っても、本発明の方向依存性ローパスフィルタリング処理が良好な効果を得られることを、画質の主観評価によって確認している。

なお、上述した実施形態では、画像処理部15が画像処理プログラムを実行する場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、画像処理

部 1 5 の処理速度を上げるために、上述した画像処理の一部もしくは全部を演算回路などで実行してもよい。

また、上述した実施形態では、色差データに対してローパスフィルタリング処理を実行しているが、これに限定されるものではない。例えば、色差データから復元した R (B) 色成分の画像データに対してローパスフィルタリング処理を施してもよい。この場合も、G 色成分について求めた重み比率を利用することにより、R (B) 色成分の画像データに対するローパスフィルタリング処理を正確に行うことが可能となる。

さらに、上述した実施形態では、色差データ（または R , B）に対してローパスフィルタリング処理を施しているが、これに限定されるものではない。一般に、色差や R , B 成分は輝度成分（G , Y）に比較して改善効果が目立たないので、色差データ（または R , B など）に対するローパスフィルタリング処理を省いてもよい。この場合は、処理時間を短縮できるという利点がある。

なお、方向性ローパスフィルタリングを施す面はどんな面でもかまわない。R G B から合成した輝度面 Y に対して処理を施してもよい。

以下、別の実施形態について説明する。

《第 3 の実施形態》

第 3 の実施形態による画像処理方法は、類似性の判断に 2 種類以上の色情報を使用する点に特徴を有する。以下、第 3 の実施形態の画像処理について、第 1 の類似度の算出動作を説明する。

まず、第 3 の実施形態は、第 1 の類似度の算出用に、R G B からなる 3 面の色情報を用意する。なお、R G B 3 面の色情報が揃っていない場合には、補間処理を先行して、R G B 3 面の色情報を用意する。

第 3 の実施形態では、このように用意した R G B 3 面の色情報について、下記の [式 1 1 0 ~ 1 1 3] を算出して、i 行 j 列目における第 1 の類似度を求める。縦方向の第 1 の類似度 t_{t1} :

$$\begin{aligned} t_{t1} = & a \times (|FG[i, j] - FG[i, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i, j+1]|) \\ & + b \times (|FG[i, j+1] - FG[i, j-1]| + |FG[i-1, j] - FG[i-1, j+2]| \\ & + |FG[i-1, j] - FG[i-1, j-2]|) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +a1 \times (|FR[i, j] - FR[i, j-1]| + |FR[i, j] - FR[i, j+1]|) \\
& +b1 \times (|FR[i, j+1] - FR[i, j-1]| + |FR[i-1, j] - FR[i-1, j+2]| \\
& + |FR[i-1, j] - FR[i-1, j-2]|) \\
& +a2 \times (|FB[i, j] - FB[i, j-1]| + |FB[i, j] - FB[i, j+1]|) \\
& +b2 \times (|FB[i, j+1] - FB[i, j-1]| + |FB[i-1, j] - FB[i-1, j+2]| \\
& + |FB[i-1, j] - FB[i-1, j-2]|)
\end{aligned}$$

・・・[式 1 1 0]

横方向の第 1 の類似度 $y y 1$:

$$\begin{aligned}
yy 1 = & a \times (|FG[i, j] - FG[i-1, j]| + |FG[i, j] - FG[i+1, j]|) \\
& + b \times (|FG[i+1, j] - FG[i-1, j]| + |FG[i, j-1] - FG[i+2, j-1]| \\
& + |FG[i, j-1] - FG[i-2, j-1]|) \\
& +a1 \times (|FR[i, j] - FR[i-1, j]| + |FR[i, j] - FR[i+1, j]|) \\
& +b1 \times (|FR[i+1, j] - FR[i-1, j]| + |FR[i, j-1] - FR[i+2, j-1]| \\
& + |FR[i, j-1] - FR[i-2, j-1]|) \\
& +a2 \times (|FB[i, j] - FB[i-1, j]| + |FB[i, j] - FB[i+1, j]|) \\
& +b2 \times (|FB[i+1, j] - FB[i-1, j]| + |FB[i, j-1] - FB[i+2, j-1]| \\
& + |FB[i, j-1] - FB[i-2, j-1]|)
\end{aligned}$$

・・・[式 1 1 1]

斜め上方向の第 1 の類似度 $nu 1$:

$$\begin{aligned}
nu 1 = & a \times (|FG[i, j] - FG[i+1, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i-1, j+1]|) \\
& + b \times (|FG[i-2, j+1] - FG[i-1, j]| + |FG[i-1, j] - FG[i, j-1]| \\
& + |FG[i, j-1] - FG[i+1, j-2]|) \\
& +a1 \times (|FR[i, j] - FR[i+1, j-1]| + |FR[i, j] - FR[i-1, j+1]|) \\
& +b1 \times (|FR[i-2, j+1] - FR[i-1, j]| + |FR[i-1, j] - FR[i, j-1]| \\
& + |FR[i, j-1] - FR[i+1, j-2]|) \\
& +a2 \times (|FB[i, j] - FB[i+1, j-1]| + |FB[i, j] - FB[i-1, j+1]|) \\
& +b2 \times (|FB[i-2, j+1] - FB[i-1, j]| + |FB[i-1, j] - FB[i, j-1]| \\
& + |FB[i, j-1] - FB[i+1, j-2]|)
\end{aligned}$$

・・・[式 1 1 2]

斜め下方方向の第1の類似度 n_{s1} :

$$\begin{aligned}n_{s1} = & a \times (|FG[i, j] - FG[i-1, j-1]| + |FG[i, j] - FG[i+1, j+1]|) \\& + b \times (|FG[i-2, j-1] - FG[i-1, j]| + |FG[i-1, j] - FG[i, j+1]| \\& + |FG[i, j+1] - FG[i+1, j+2]|) \\& + a1 \times (|FR[i, j] - FR[i-1, j-1]| + |FR[i, j] - FR[i+1, j+1]|) \\& + b1 \times (|FR[i-2, j-1] - FR[i-1, j]| + |FR[i-1, j] - FR[i, j+1]| + |FR[i, j+1] \\& - FR[i+1, j+2]|) \\& + a2 \times (|FB[i, j] - FB[i-1, j-1]| + |FB[i, j] - FB[i+1, j+1]|) \\& + b2 \times (|FB[i-2, j-1] - FB[i-1, j]| + |FB[i-1, j] - FB[i, j+1]| \\& + |FB[i, j+1] - FB[i+1, j+2]|)\end{aligned}$$

・・・[式113]

なお、上式において、 $FR[\bigcirc, \triangle]$ 、 $FG[\bigcirc, \triangle]$ 、 $FB[\bigcirc, \triangle]$ は、RGB3面の色情報における \bigcirc 行 \triangle 列目の各値である。また、 $a1$ 、 a 、 $a2$ 、 $b1$ 、 b 、 $b2$ は、第1の類似度におけるRGB色の寄与率を決定する重み係数である。

上記のように求めた第1の類似度に基づいて、方向依存性ローパスフィルタリング処理を行う過程については、第1の実施形態または第2の実施形態と同じため、ここでの説明を省略する。

第3の実施形態による画像処理においても、第1の実施形態および第2の実施形態で得られるものと同様の利点を得ることが可能となる。特に、第3の実施形態では、カラー画像データの色情報を2種類以上加味して第1の類似度の算出を行っている。したがって、G面はほぼ一様でR面またはB面のみが変化している画像においても、色の境界を正確に判断することが可能となる。したがって、このような色の境界を十分保存しながらノイズやジャギーを適切に除去することが可能となる。

なお、上述した実施形態では、RGBを用いて第1の類似度の算出を行っているが、これに限定されるものではない。一般的には、画像の色に関する情報を2種類以上用いて類似性の判定を行えばよい。例えば、色情報として色差値や補色値その他の色刺激値を用いてもよい。

また例えば、下記の[式114]のように、カラー画像データの2種類以上の

色情報を用いて適当な画像データYをまず合成し、その画像データYについて類似性を判定してもよい。

$$Y = a \times G + b \times R + c \times B \quad \cdots [\text{式} 1 1 4]$$

なお、上式の重み係数 a 、 b 、 c は、各色情報の視覚感度に対応した値に設定することが好ましい。この場合、視覚感度に沿って類似性を判断することが可能となる。たとえば、通常の画像に対しては、 $a=0.6$ 、 $b=0.3$ 、 $c=0.1$ を設定することができる。あるいは、 $a=0.6$ 、 $b=0.2$ 、 $c=0.2$ としてもよい。また、重み係数 a 、 b 、 c を任意の値に設定してもよい。さらに、 R 成分についてとくに類似性を判断するときは、重み係数 b を最も大きな比率とする。こうして作成した第2の類似度を用いた方向依存性ローパスフィルタリングを施す面としては、どんな面でもかまわない。もちろん、 Y 面に適用してもよい。

なお、上述した実施形態では、上記算出式を用いて一度に第1の類似度を算出しているが、これに限定されるものではない。例えば、視覚感度の高い色情報について類似性を判定し、その類似性から画像構造の方向性が不明確な場合のみ、その他の色情報について改めて類似性を判定してもよい。このような段階的な演算動作では、視覚感度の高い色情報を優先して類似性が判定されるので、視覚感度に合ったローパスフィルタリング処理を実行することが可能となる。また、大部分の画素では、1回目の演算で類似性を判断できるので、全体の演算処理量を軽減することも可能となる。

次に、別の実施形態について説明する。

《第4の実施形態》

第4の実施形態による電子カメラについて説明する。なお、このカメラの構成については、第2の実施形態（図4）と同一のため、ここでの説明を省略する。図7は、第4の実施形態における画像処理動作を説明する流れ図である。なお、この画像処理動作は、第2の実施形態（図5）のステップS28～S29をステップS41～S45に代えたものである。以下、この差異部分について説明する。

◎ステップS41：同色画素間および異色画素間による第1の類似度の算出

画像メモリ18には、撮像素子13から読み出されたベイア配列の画像データORGが残存する。この画像データORGは、ホワイトバランス処理後で、かつ

色に関する補間処理前のカラー画像データである。

画像処理部 15 は、この画像データ O R G について下記の演算を実行し、i 行 j 列目を注目画素とする近傍領域における第 1 の類似度を求める。なお、画像データ O R G の画素値を、R G B いずれの色であるかを問わず、全て Z [○, △] と表記する。

縦方向の第 1 の類似度 t t 1 :

$$\begin{aligned} t t 1 = & p1 \times (|Z[i, j] - Z[i, j-1]| + |Z[i, j] - Z[i, j+1]|) \\ & + p2 \times (|Z[i-1, j] - Z[i-1, j-1]| + |Z[i-1, j] - Z[i-1, j+1]|) \\ & + p3 \times (|Z[i, j+1] - Z[i, j-1]| + |Z[i, j] - Z[i, j-2]| + |Z[i, j] - Z[i, j+2]|) \\ & + p4 \times (|Z[i-1, j+1] - Z[i-1, j-1]| + |Z[i-1, j] - Z[i-1, j-2]| \\ & + |Z[i-1, j] - Z[i-1, j+2]|) \\ & \dots \text{[式 1 2 4]} \end{aligned}$$

横方向の第 1 の類似度 y y 1 :

$$\begin{aligned} y y 1 = & q1 \times (|Z[i, j] - Z[i-1, j]| + |Z[i, j] - Z[i+1, j]|) \\ & + q2 \times (|Z[i, j-1] - Z[i-1, j-1]| + |Z[i, j-1] - Z[i+1, j-1]|) \\ & + q3 \times (|Z[i+1, j] - Z[i-1, j]| + |Z[i, j] - Z[i+2, j]| + |Z[i, j] - Z[i-2, j]|) \\ & + q4 \times (|Z[i+1, j-1] - Z[i-1, j-1]| + |Z[i, j-1] - Z[i+2, j-1]| \\ & + |Z[i, j-1] - Z[i-2, j-1]|) \\ & \dots \text{[式 1 2 5]} \end{aligned}$$

斜め上方方向の第 1 の類似度 n u 1 :

$$\begin{aligned} n u 1 = & r1 \times (|Z[i, j] - Z[i+1, j-1]| + |Z[i, j] - Z[i-1, j+1]|) \\ & + r2 \times (|Z[i-1, j] - Z[i, j-1]| + |Z[i-1, j] - Z[i-2, j+1]|) \\ & + r3 \times (|Z[i-1, j+1] - Z[i+1, j-1]| + |Z[i, j] - Z[i+2, j-2]| \\ & + |Z[i, j] - Z[i-2, j+2]|) \\ & + r4 \times (|Z[i-2, j+1] - Z[i, j-1]| + |Z[i-1, j] - Z[i+1, j-2]|) \\ & \dots \text{[式 1 2 6]} \end{aligned}$$

斜め下方方向の第 1 の類似度 n s 1 :

$$\begin{aligned} n s 1 = & s1 \times (|Z[i, j] - Z[i-1, j-1]| + |Z[i, j] - Z[i+1, j+1]|) \\ & + s2 \times (|Z[i+1, j] - Z[i, j-1]| + |Z[i+1, j] - Z[i+2, j+1]|) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +s3 \times (|Z[i+1, j+1]-Z[i-1, j-1]| + |Z[i, j]-Z[i-2, j-2]| \\
& + |Z[i, j]-Z[i+2, j+2]|) \\
& +s4 \times (|Z[i+2, j+1]-Z[i, j-1]| + |Z[i+1, j]-Z[i-1, j-2]|) \\
& \quad \cdot \cdot \cdot [\text{式 } 127]
\end{aligned}$$

ただし、上式において、 $Z[\bigcirc, \triangle]$ は、画像データORGの \bigcirc 行 \triangle 列目に位置するRGBいずれかの値である。換言すると、Gの画素位置ではG成分の画素値、Rの画素位置ではR成分の画素値、Bの画素位置ではB成分の画素値が使用される。また、 $p1 \sim 4$ 、 $q1 \sim 4$ 、 $r1 \sim 4$ 、 $s1 \sim 4$ は、第1の類似度における各項の寄与率を決定する重み係数であり、例えば、すべて1である。

また、絶対値の加算に重み付けを行ってもよい。例えば [式 124] の第3項について一例を挙げると、次のとおりである。

$$p3 \times (|Z[i, j+1]-Z[i, j-1]| + u \cdot |Z[i, j]-Z[i, j-2]| + v \cdot |Z[i, j]-Z[i, j+2]|)$$

ただし、 $u=v=1/2$ 程度が好ましい。

◎ステップS42：第1の類似度における方向別の重み調整

画像処理部15は、求めた第1の類似度に対して、方向別に重みを下記(a)のように変更する。

(a) $t t 1 = t t 1 \times 2$, $y y 1 = y y 1 \times 2$, $n u 1 = n u 1$, $n s 1 = n s 1$
 この重み調整では、斜め方向の第1の類似度の値が相対的に小さくなる、すなわち、類似性が高くなるので、方向依存性ローパスフィルタリング処理において斜め方向の重み比率が高くなる。そのため、例えば、奇数列(行)と偶数列(行)とにゲイン差などの段差を生じる撮像素子において、その段差ノイズをキャンセルする効果が大きくなる。なお、方向別に重みを変更しない場合は、下記(b)のとおりである。

(b) $t t 1 = t t 1$, $y y 1 = y y 1$, $n u 1 = n u 1$, $n s 1 = n s 1$

なお実際的には、画像データの特徴(欠陥)に応じて適正な重み調整を実行することが、より好ましい。より具体的には、テスト画像の主観評価実験などを通して、上記(a)(b)のいずれか、あるいは更に別の重みを用いるかなどを最終的に決定する。

◎ステップS43：重み比率の決定

画像処理部15は、第1の類似度について、下記の平均演算を行い、代表値m1を算出する。

$$m1 = (tt1 + yy1 + nu1 + ns1) / 4 \quad \cdots \text{[式128]}$$

画像処理部15は、4方向の第1の類似度tt1, yy1, nu1, ns1と、代表値m1とに基づいて、次の非線形変換を実施し、4方向の第2の類似度tt2, yy2, nu2, ns2を算出する。

$$tt2 = \max \{m1 - tt1 + \delta, \gamma\} \cdots \text{[式129]}$$

$$yy2 = \max \{m1 - yy1 + \delta, \gamma\} \cdots \text{[式130]}$$

$$nu2 = \max \{m1 - nu1 + \delta, \gamma\} \cdots \text{[式131]}$$

$$ns2 = \max \{m1 - ns1 + \delta, \gamma\} \cdots \text{[式132]}$$

例えば、 $\delta = 1$, $\gamma = 0$ である。

次に、画像処理部15は、4方向の第2の類似度tt2, yy2, nu2, ns2を正規化して、4方向の重み比率tt, yy, nu, nsを求める。

$$m2 = tt2 + yy2 + nu2 + ns2 \quad \cdots \text{[式133]}$$

$$tt = tt2 / m2 \quad \cdots \text{[式134]}$$

$$yy = yy2 / m2 \quad \cdots \text{[式135]}$$

$$nu = nu2 / m2 \quad \cdots \text{[式136]}$$

$$ns = ns2 / m2 \quad \cdots \text{[式137]}$$

◎ステップS44：G面に対する方向依存性ローパスフィルタリング処理

画像処理部15は、対象画素FG[i, j]に周辺画素を加重平均し、[式138]によりローパスフィルタリング処理後の対象画素FG[i, j]を算出する。

$$\begin{aligned} \text{Tmp_FG}[i, j] = \{ & \text{FG}[i, j] \\ & + k \times tt \ (\text{FG}[i, j-1] + \text{FG}[i, j+1]) \\ & + k \times yy \ (\text{FG}[i-1, j] + \text{FG}[i+1, j]) \\ & + k \times nu \ (\text{FG}[i-1, j+1] + \text{FG}[i+1, j-1]) \\ & + k \times ns \ (\text{FG}[i-1, j-1] + \text{FG}[i+1, j+1]) \} / (1 + k \times 2) \\ & \cdots \text{[式138]} \end{aligned}$$

ただし、kはローパスフィルタリング処理の強さを調整する数値であり、例えば、 $k = 1/2$ である。

◎ステップ S 4 5 : 色差補間画素に対するローパスフィルタリング処理

画像処理部 1 5 は、色差補間画素について方向依存性ローパスフィルタリング処理を下式により実行する。

$$\begin{aligned} \text{Tmp_DR}[i, j] = & \text{FDR}[i, j] \\ & + k \times tt (\text{FDR}[i, j-1] + \text{FDR}[i, j+1]) \\ & + k \times yy (\text{FDR}[i-1, j] + \text{FDR}[i+1, j]) \\ & + k \times nu (\text{FDR}[i-1, j+1] + \text{FDR}[i+1, j-1]) \\ & + k \times ns (\text{FDR}[i-1, j-1] + \text{FDR}[i+1, j+1]) / (1+k \times 2) \\ & \dots \text{[式 1 3 9]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tmp_DB}[i, j] = & \text{FDB}[i, j] \\ & + k \times tt (\text{FDB}[i, j-1] + \text{FDB}[i, j+1]) \\ & + k \times yy (\text{FDB}[i-1, j] + \text{FDB}[i+1, j]) \\ & + k \times nu (\text{FDB}[i-1, j+1] + \text{FDB}[i+1, j-1]) \\ & + k \times ns (\text{FDB}[i-1, j-1] + \text{FDB}[i+1, j+1]) / (1+k \times 2) \\ & \dots \text{[式 1 4 0]} \end{aligned}$$

ただし、k はローパスフィルタリング処理の強さを調整する定数値であり、例えば $k = 1 / 2$ である。

画像処理部 1 5 は、上記の方向依存性ローパスフィルタリング処理が画面全体について完了した後、下記の置き換えを実行する。

$$\begin{aligned} \text{FG}[i, j] &= \text{Tmp_FG}[i, j] \\ \text{FDR}[i, j] &= \text{Tmp_DR}[i, j] \\ \text{FDB}[i, j] &= \text{Tmp_DB}[i, j] \end{aligned}$$

第 4 の実施形態の電子カメラは、第 2 の実施形態のカメラと同様の利点を有する。とくに、第 4 の実施形態の電子カメラでは、補間処理前のデータで第 1 の類似度の計算を行うので、処理規模が少なくてすむ利点がある。

また、第 4 の実施形態では、ホワイトバランス処理後のカラー画像データを用いて異色画素間の特徴差を算出するのが好ましい。このホワイトバランス処理によって、色の極端な偏りが予め抑制されるので、色の偏りに起因する類似性の誤判断を低減することが可能となる。

なお、本発明者は、上述した実施形態において補間処理の前後どちらに階調変換や階調補正を行っても、本発明の方向依存性ローパスフィルタリング処理が良好な効果をもたらすことを、画質の主観評価によって確認している。

なお、上述した実施形態では、画像処理部15が画像処理プログラムを実行する場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、画像処理部15の処理速度を上げるために、上述した画像処理の一部もしくは全部を演算回路などで実行してもよい。

なお、第4の実施形態においては、画像データが高彩度の場合に第1の類似度における異色画素間の特徴差の寄与率を低くし、低彩度の場合に、第1の類似度における異色画素間の特徴差の寄与率を高くすることが好ましい。

図8は、このような寄与率の自動調整を追加した流れ図である。以下、第4の実施の形態の処理に追加される部分の動作について説明する。

◎ステップS51：2種類の彩度算出

画像処理部15は、下式を用いて、画像データORGについてi行j列目の彩度CCt, CCyを算出する。

$$CCt = (|Z[i, j-1] - Z[i, j]| + |Z[i, j+1] - Z[i, j]|) / 2$$

$$CCy = (|Z[i-1, j] - Z[i, j]| + |Z[i+1, j] - Z[i, j]|) / 2$$

◎ステップS52：彩度の判定

画像処理部15は、次の条件式を判定する。

$$(CCt > Bwth) \quad \text{and} \quad (CCy > Bwth)$$

2種類の彩度CCt, CCyがどちらも閾値Bwthを上回った場合、高彩度箇所である可能性が高い。この場合、画像処理部15は、異色画素間の特徴差の係数p1~2, q1~2, r1~2, s1~2を低減し、同色画素間の特徴差の係数p3~4, q3~4, r3~4, s3~4を増やして、異色画素間の特徴差の寄与率を低下させる。

逆に、2種類の彩度CCt, CCyのいずれかが閾値Bwthを下回った場合低彩度と判断される。この場合、画像処理部15は、異色画素間の特徴差の係数p1~2, q1~2, r1~2, s1~2を増やすなどして、異色画素間の特徴差の寄与率を高くする。

なお、次のように係数を変更してもよい。

(a) 完全に同色画素間と異色画素間とを切り換えるケース

高彩度と判断した場合に、画像処理部15は、異色画素間の特徴差の係数 $p1 \sim 2$, $q1 \sim 2$, $r1 \sim 2$, $s1 \sim 2$ をゼロにし、同色画素間の特徴差の係数 $p3 \sim 4$, $q3 \sim 4$, $r3 \sim 4$, $s3 \sim 4$ を1にする。一方、低彩度と判断した場合に、画像処理部15は、異色画素間の特徴差の係数 $p1 \sim 2$, $q1 \sim 2$, $r1 \sim 2$, $s1 \sim 2$ を1にし、同色画素間の特徴差の係数 $p3 \sim 4$, $q3 \sim 4$, $r3 \sim 4$, $s3 \sim 4$ をゼロにする。

(b) 高彩度時は同色画素間のみ使用するケース

高彩度と判断した場合に、画像処理部15は、異色画素間の特徴差の係数 $p1 \sim 2$, $q1 \sim 2$, $r1 \sim 2$, $s1 \sim 2$ をゼロにし、同色画素間の特徴差の係数 $p3 \sim 4$, $q3 \sim 4$, $r3 \sim 4$, $s3 \sim 4$ を1にする。一方、低彩度と判断した場合に、画像処理部15は、異色画素間の特徴差の係数 $p1 \sim 2$, $q1 \sim 2$, $r1 \sim 2$, $s1 \sim 2$ を1にし、同色画素間の特徴差の係数 $p3 \sim 4$, $q3 \sim 4$, $r3 \sim 4$, $s3 \sim 4$ を1にする。

以上のように、第1の類似度における異色画素間の特徴差の寄与率を彩度に応じて可変することにより、高彩度箇所を画像構造と誤判断することが少なくなる。したがって、画像構造の方向性をより正確に判断して、方向依存性ローパスフィルタリング処理を実行することが可能となる。

なお正確には、Gの格子位置が対象となる場合、 $r1$, $s1$ は同色画素間の特徴差の係数となり、RBの格子位置が対象となる場合、 $r2$, $s2$ は同色画素間の特徴差の係数となる。そこで、格子位置Gか格子位置RBかに応じて、 $r1 \sim 2$, $s1 \sim 2$ の値を更に可変してもよい。この場合には、より厳密に画像構造を判断できるという利点がある。しかしながら、格子位置によって第1の類似度の算出値が上下し、方向依存性ローパスフィルタリング処理後に格子状の固定むらが生じるおそれがある。このような不具合を生じる場合には、上記処理に示したように、 $r1 \sim 2$, $s1 \sim 2$ を一律に異色画素間の特徴差の係数として扱うことが好ましい。

なお、上述した第1～4の実施形態では、それぞれ特徴的な類似性判断の手法を述べたが、これらの手法を適宜に組み合わせたり、各手法の判断結果を比較して顕著な差の現れたものを採用したり、平均的なものを採用するなどしてもよい。このような複合的な手法により、一段と適切な類似性判断が可能となる。

また、上述した第1～4の実施形態では、説明をわかりやすくするために、第1の類似度などの変数名を請求項中の変数名と一致させている。しかしながら、このような具体的な記載によって、請求項中の変数の内容が不必要に限定されるものではない。

なお、上述した第1～4の実施形態では、マトリクス画素配列やベイヤ配列の場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、ハニカム画素配列その他の特殊な画素配列においても、各方向の画素間隔などを考慮して『少なくとも4方向』や『重み比率の値』などを適宜に決定すれば、本発明が適用可能である。

What is claimed is:

1.

画像データに対してローパスフィルタリングを施す画像処理方法は、

ローパスフィルタリング処理の対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手順と、

前記類似性判定手順の判定結果に基づいて前記類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、前記対象画素の画素値に、前記対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手順とを備える。

2.

請求項1の画像処理方法において、

前記類似性判定手順は、下記(1)(2)のいずれか一方の特徴差または両方の特徴差を用いて前記類似性の判定を行う

(1) 対象画素を通る所定方向のライン上に位置する複数の画素間の特徴差

(2) 対象画素の近くを通る所定方向のライン上に位置する複数の画素間の特徴差

3.

請求項2の画像処理方法において、

前記画素間の特徴差は、前記局所領域内の複数の画素の画素値間の差の絶対値として算出され、

前記類似性判定手順は、前記(1)(2)のいずれかの差の絶対値または(1)(2)の両方の差の絶対値を用いて、少なくとも4方向の第1の類似度 $t t 1$, $y y 1$, $n u 1$, $n s 1$ を算出し、

前記少なくとも4方向の第1の類似度 $t t 1$, $y y 1$, $n u 1$, $n s 1$ について平均またはメディアンを取ることにより、第1の類似度の代表値 $m 1$ を算出し、

前記少なくとも4方向の第1の類似度 $t t 1$, $y y 1$, $n u 1$, $n s 1$ と、前記代表値 $m 1$ とに基づいて、下記の非線形変換を実行して、第2の類似度 $t t 2$, $y y 2$, $n u 2$, $n s 2$ を算出する手順であり、

$$t t 2 = \max \{ m 1 - t t 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots \text{[式1]}$$

$$y y 2 = \max \{ m 1 - y y 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots \text{[式2]}$$

$$n u 2 = \max \{ m 1 - n u 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots [式 3]$$

$$n s 2 = \max \{ m 1 - n s 1 + \delta, \gamma \} \quad \cdots [式 4]$$

(ただし、上式中の δ , γ は予め定められた値であり、0 の場合も含む)

前記方向依存性ローパスフィルタリング手順は、

算出した第 2 の類似度 $t t 2$, $y y 2$, $n u 2$, $n s 2$ に応じて、少なくとも 4 方向に位置する周辺画素の重み比率を決定し、この重み比率に基づいて、対象画素の画素値に、前記対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する手順である。

4.

請求項 1 の画像処理方法において、

前記画像データは、カラー画像データであり、

前記類似性判定手順は、カラー画像データの 2 種類以上の色情報に基づいて前記類似性の判定を行う。

5.

請求項 4 の画像処理方法において、

前記類似性判定手順は、補間処理前のカラー画像データに基づいて前記類似性の判定を行う。

6.

請求項 4 の画像処理方法において、

前記類似性判定手順は、所定方向の第 1 の類似度を、所定方向における複数の同色画素間および／または複数の異色画素間の特徴差を用いて算出し、算出された前記第 1 の類似度に応じて類似性の判定を行う。

7.

請求項 6 の画像処理方法において、

前記類似性判定手順は、ホワイトバランス処理後のカラー画像データに基づいて、複数の異色画素間の特徴差を算出する。

8.

請求項 6 の画像処理方法において、

前記類似性判定手順は、ローパスフィルタリング処理の対象画素について彩度を検出し、検出した彩度に対応して、第 1 の類似度の算出における複数の異色画

素の特徴差の寄与率を可変する。

9.

請求項1の画像処理方法において、

前記画像データは、色成分が欠落した画素について補間処理が施された画像データであり、

前記方向依存性ローパスフィルタリング手順では、補間処理が実施された画素のみを対象画素として、前記ローパスフィルタリング処理を施す。

10.

請求項1の画像処理方法において、

前記画像データは、色成分が欠落した画素について補間処理が施された画像データであり、

前記類似性判定手順は、ローパスフィルタリング処理に先だって、補間処理が実施された画素の画素値を、その画素近傍の所定領域における画素最大値または最小値に対応する境界値で制限する。

11.

請求項1の画像処理方法において、

前記画像データは、画素密度の一番高い第1色と、空格子を有して画素密度の低い第2色とを少なくとも有するカラー画像データであり、

前記第2色の存在する画素について、第2色と第1色の色差をとる色差算出手順と、

前記第2色の存在しない画素について、前記色差算出手順で得た色差に基づいて色差補間値を求める色差補間手順と、

前記色差補間手順で求めた色差補間値と第1色とに基づいて、第2色を復元する第2色復元手順とを有し、

前記色差算出手順において、色差の算出に使用する第1色は、前記ローパスフィルタリング処理前の第1色である。

12.

請求項11の画像処理方法において、

前記第2色復元手順において、第2色の復元に使用する第1色は、前記ローパ

スフィルタリング処理後の第1色である。

13.

請求項11の画像処理方法において、

前記方向依存性ローパスフィルタリング手順では、前記第1色から重み比率を求め、その重み比率を用いて前記第2色または前記色差を加重平均する。

14.

請求項1の画像処理方法において、

前記方向依存性ローパスフィルタリング手順では、少なくとも、類似性の最も低い方向の重み比率を実質的にゼロにする。

15.

請求項1の画像処理方法において、

前記画像データは、撮像対象からの反射光をベイヤ配列のカラーフィルタで色分解して生成され、

前記類似性判定手順では、色分解されたRGBの画素データから構成された前記画像データそのもの、前記画像データから生成されたG色の画像データ、または、前記画像データから生成された輝度の画像データに対して、前記類似性を判定する。

16.

請求項15の画像処理方法において、

前記ローパスフィルタリング手順では、前記類似性判定手順で判定された類似性に基づいて、前記画像データから生成されたG色の画像データ、前記画像データから生成されたR色の画像データ、前記画像データから生成されたB色の画像データ、前記画像データから作成された輝度の画像データ、または、前記画像データから生成されたRGB各色間の色差の画像データに対して、ローパスフィルタリングを行う。

17.

画像データに対して少なくともローパスフィルタリングを行う画像処理装置は、ローパスフィルタリング処理の対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手段と、

前記類似性判定手段の判定結果に基づいて前記類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、前記対象画素の画素値に、前記対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手段とを備える。

18.

撮像した画像データに対して少なくともローパスフィルタリングを行う電子カメラは、

ローパスフィルタリング処理の対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手段と、

前記類似性判定手段の判定結果に基づいて前記類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、前記対象画素の画素値に、前記対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手段とを備える。

19.

ローパスフィルタリングされる対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手順と、

前記類似性判定手順の判定結果に基づいて前記類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、前記対象画素の画素値に、前記対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手順とを実行する画像処理プログラムが記録されたコンピュータで読みとり可能な記録媒体。

20.

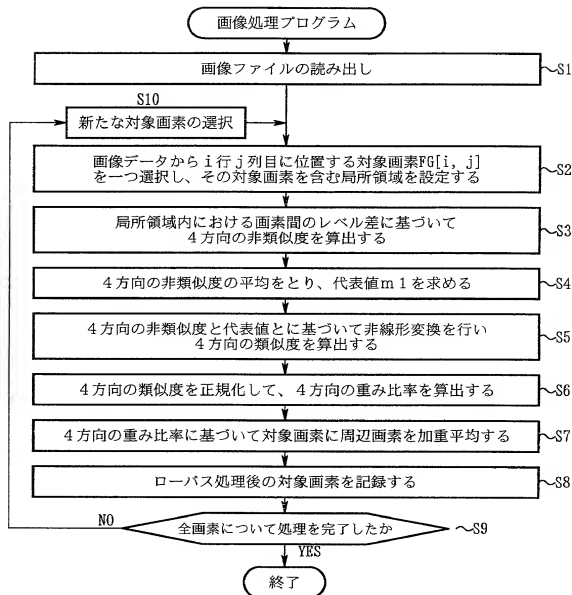
ローパスフィルタリングされる対象画素を含む局所領域に関して、少なくとも4つの方向における画素の類似性を判定する類似性判定手順と、

前記類似性判定手順の判定結果に基づいて前記類似性の強い方向の重み比率を増やしたうえで、前記対象画素の画素値に、前記対象画素の周辺の画素の画素値を加重平均する方向依存性ローパスフィルタリング手順とを実行する画像処理プログラムを伝送ラインを介して伝送するデータ信号。

ABSTRACT OF DISCLOSURE

対象画素を含む局所領域内で少なくとも4方向について第1の類似度を求め、第1の類似度の低い方向（類似している方向）の加算重みを増やして、対象画素の画素値に周辺画素の画素値を加重平均する。このとき、対象画素の隣接ライン上の複数の画素の画素値レベル差を第1の類似度の値に含めることにより、従来除去が困難であったジャギーを綺麗に除去することが可能となる。さらに、異色画素間の特徴差などの色情報を加味して類似性を判断することにより、画像構造の判断がさらに正確になり、より適正な方向依存性ローパスフィルタリングを行うことが可能となる。

FIG.1



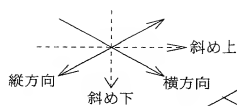


FIG.2 A tt1

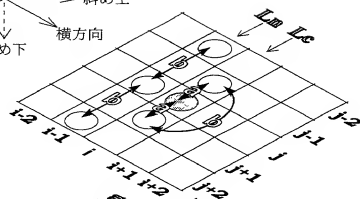


FIG.2 B vy1

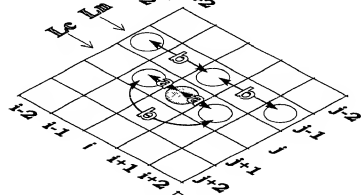


FIG.2 C nu1

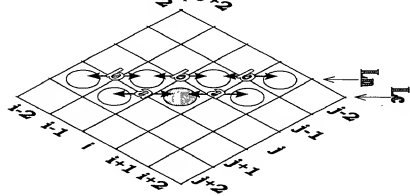
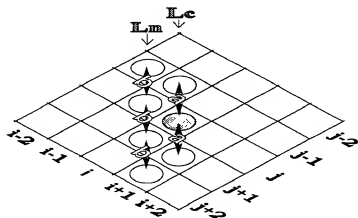


FIG.2 D ns1



微細構造

ジャギーA

ジャギーB



FIG.3A

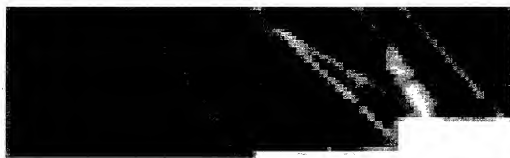


FIG.3B



FIG.3C



FIG.3D



FIG.3E

FIG.4

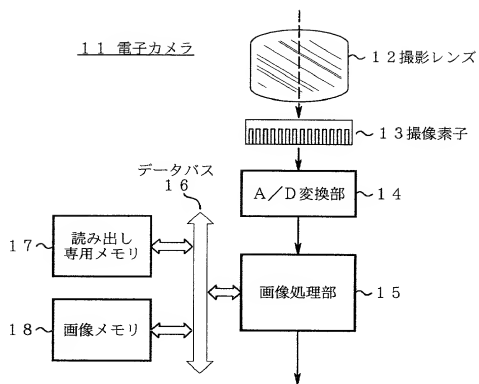


FIG.5

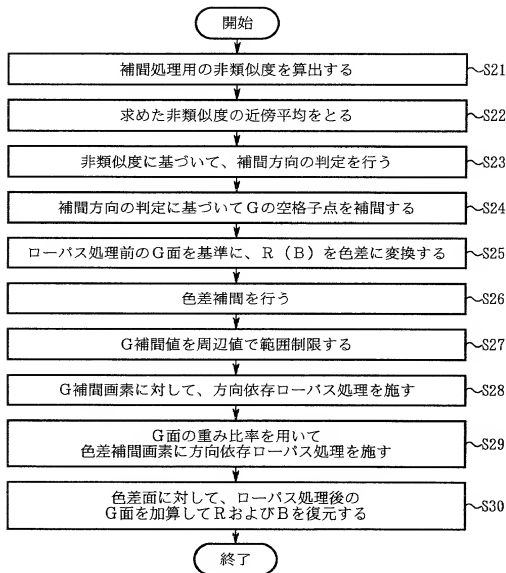


FIG. 6

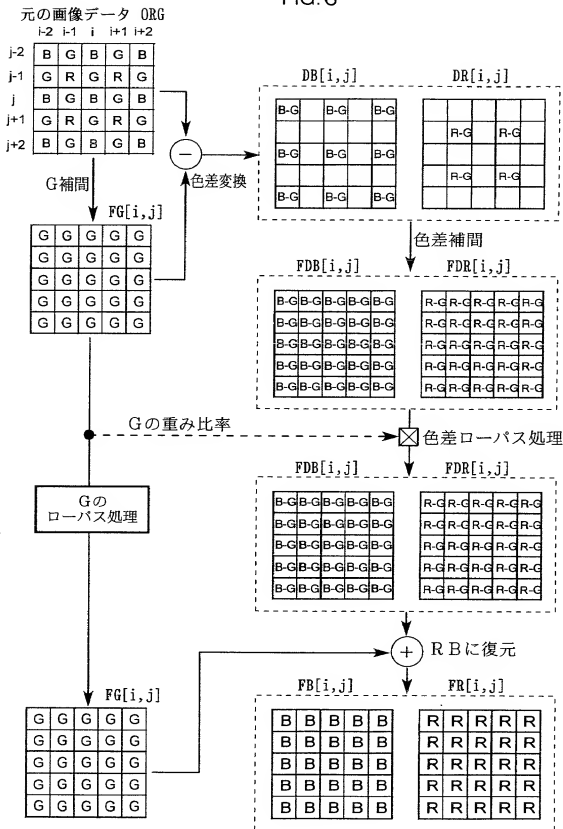


FIG. 7

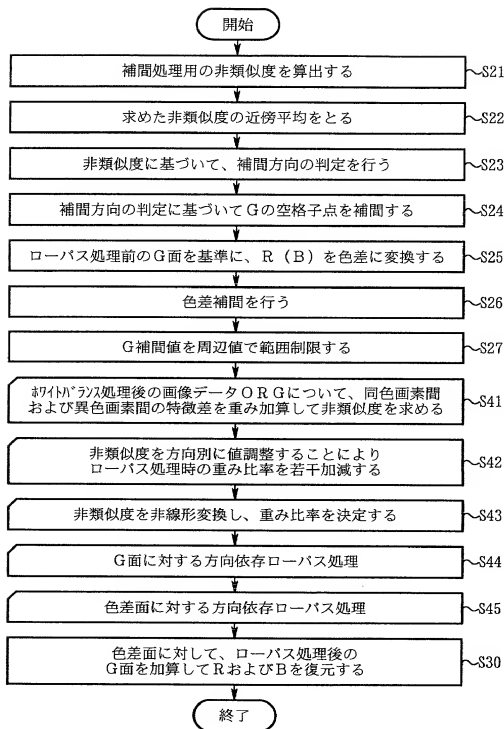


FIG. 8



APPLICATION FOR UNITED STATES PATENT DECLARATION AND POWER OF ATTORNEY

As a below named inventor, I hereby declare that:

my residence, post office address and citizenship are as stated below next to my name; that

I verily believe I am the original, first and sole inventor (if only one name is listed below) or an original, first and joint inventor (if plural names are listed below) of the subject matter which is claimed and for which a patent is sought on the invention entitled: METHOD FOR PROCESSING IMAGE, RECORDING MEDIUM STORING IMAGE PROCESSING PROGRAM AND IMAGE PROCESSING APPARATUS

described and claimed in the specification:

Check one

- * a. ☒ attached hereto.
b. ☐ filed on _____ as Application Serial No.

I hereby state that I have reviewed and understand the contents of the above-identified application, including the claims, as amended by any amendment referred to above.

I acknowledge the duty to disclose to the Office all information known to me to be material to patentability as defined in Title 37, Code of Federal Regulations §1.56.

Under Title 35, U.S. Code §119, the priority benefits of the following foreign application(s) filed by me or my legal representatives or assigns within one year prior to this application are hereby claimed:

Japanese Patent Application No.11-167214 filed June 14, 1999
Japanese Patent Application No.2000-154771 filed May 25, 2000

The following application(s) for patent or inventor's certificate on this invention were filed in countries foreign to the United States of America either (a) more than one year prior to said international application, or (b) before the filing date of the above-named foreign priority application(s) and/or United States provisional application(s):

I hereby appoint the following as my attorneys of record with full power of substitution and revocation to prosecute this application and to transact all business in the Patent Office:

James A. Oliff, Reg. No. 27,075; William P. Berridge, Reg. No. 30,024;
Kirk M. Hudson, Reg. No. 27,562; Thomas J. Pardini, Reg. No. 30,411;
Edward P. Walker, Reg. No. 31,450; Robert A. Miller, Reg. No. 32,771;
Mario A. Costantino, Reg. No. 33,565; Caroline D. Dennison, Reg. No. 34,494;
and Stephen J. Roe, Reg. No. 34,463.

ALL CORRESPONDENCE IN CONNECTION WITH THIS APPLICATION SHOULD BE SENT TO OLIFF & BERRIDGE, PLC, P.O. BOX 19928, ALEXANDRIA, VIRGINIA 22320, TELEPHONE (703) 836-6400.

I hereby declare that I have reviewed and understand the contents of this Declaration, and that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

1 *Typewritten Full Name of Sole or First Inventor*

Ken	UTAGAWA
Given Name	Family Name

2 *Inventor's Signature*

Ken	UTAGAWA
-----	---------

3 *Date of Signature*

June	7	2000
Month	Day	Year

Residence:	Yokohama-shi	Kanagawa-ken	Japan
	City	State or Province	Country

Citizenship:	Japan
--------------	-------

Post Office Address:	C/O Nikon Corporation, 2-3, Marunouchi 3-chome, Chiyoda-ku
(Insert complete mailing address, including country)	TOKYO 100-8331 JAPAN

If Box a. is checked, this form may be executed only when attached to the specification (including claims).
Note to Inventor: Please sign name exactly as it appears above and insert the actual date of signing

IF THERE IS MORE THAN ONE INVENTOR USE PAGE 2 AND PLACE AN "X" HERE ☐